

J. P. CARMOUZE

**IONS MAJEURS, PHOSPHATES ET SILICATES  
DANS LE LAC TCHAD EN AVRIL 1968**

Septembre 1968

**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER**



9024ext

DS  
CAR  
DE FORT-LAMY

OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE  
OUTRE-MER

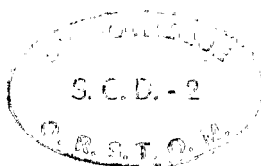
---

CENTRE DE FORT-LAMY

IONS MAJEURS, PHOSPHATES ET SILICATES  
DANS LE LAC TCHAD EN AVRIL 1968

---

J. P. CARMOUZE



23 MAI 1968

Septembre 1968

9024 ex1

98  
CAR

## I. I N T R O D U C T I O N

Un certain nombre de données sur la physico-chimie des eaux du lac Tchad sont mentionnées dans les travaux de Bouchardeau (1957), Gras, Iltis, Levêque-Duwat (1964), Hopson (1968), Roche (1967).

Ces auteurs montrent que les eaux du lac présentent un gradient de salinité très marqué en allant du Sud au Nord. La conductivité à 25°C passe de 60  $\mu$  mhos dans la zone du delta à 600-800  $\mu$  mhos  $\text{cm}^{-1}$  dans le nord.

La conductivité est un indicateur de la salure totale des eaux mais ne renseigne pas sur la nature et les proportions relatives des ions majeurs dans l'eau.

Aussi nous sommes nous attachés à étudier la répartition des différents ions majeurs (carbonates, bicarbonates, calcium, magnésium, sodium, potassium) sur toute l'étendue du lac, en vue de suivre l'évolution de la composition chimique de l'eau en ions majeurs dans l'espace et d'éventuellement caractériser différents types d'eaux vis-à-vis de ces ions, ceci à des fins hydrobiologiques.

La distribution des ions majeurs peut directement agir sur la répartition de la faune et de la flore dans le lac et indirectement en conditionnant dans certains cas la teneur des sels nutritifs (phosphates sulfates..)

Trois types d'eau relativement homogènes ont ainsi été définis en suivant certains rapports de concentration des ions majeurs entre eux.

Une étude sur la répartition des phosphates et des silicates sur le lac a été également faite. Ces composés envisagés en tant que sels nutritifs feront l'objet d'études ultérieures plus poussées.

L'évolution chimique des eaux est étroitement liée à la situation géographique du lac et à ses caractéristiques morphologiques. Une description détaillée du lac est fournie par Bouchardeau (1957), Gras, Iltis, Levêque-Duwat (1964) Dejoux (1968).

## II. M E T H O D E S

### II.1 - Prélèvement et conservation des échantillons.

L'itinéraire suivi a été choisi en vue de recouvrir le lac dans son ensemble. Les échantillons d'eau ont été prélevés en fonction des variations de la conductivité d'eaux, fréquemment mesurée au cours du trajet. Les prélèvements ont été effectués loin des îlots bancs et des îles dont la proximité peut amener des modifications locales de la composition chimique des eaux.

Les eaux, uniquement prises en surface, ont été conservées dans des flacons en polyéthylène après addition de 2 ml d'acide nitrique concentré dans le but de supprimer toute activité bactérienne susceptible de modifier la teneur en phosphates et en silicates des eaux.

### II.2 - Mesure de la conductivité.

Cette mesure a été faite sur place à l'aide d'un conductivimètre Phillips. La conductivité, ramenée à 25°C, est exprimée en  $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ . L'erreur relative maximum est de 5% (Roche - 1967).

### II.3 - Mesure de l'alcalinité.

L'alcalinité d'une eau est la capacité de cette eau à accepter des ions  $\text{H}^+$ . Elle est généralement due aux ions hydroxydes, carbonates et bicarbonates.

La courbe de titrage potentiométrique présente deux points d'inflexion qui définissent successivement les points d'équivalence des bicarbonates et de l'acide carbonique.

La courbe de neutralisation tracée point par point à l'aide d'un pH-mètre Phillips n'a pas permis la localisation précise du premier point d'inflexion pour les eaux considérées, aussi n'avons-nous noté que les alcalinités totales.

La prise d'essai variait de 25 ml à 100 ml selon la concentration des eaux ; la solution d'acide employée était de l'acide sulfurique 0,1 N.

Les mesures ont été effectuées immédiatement après prélèvement de l'échantillon de façon à éviter d'éventuelles variations de l'alcalinité dans le temps.

Les résultats sont exprimés en milli-équivalents d'ions hydrogène par litre. L'erreur relative maximum est de 5%.

#### II.4 - Mesure des métaux alcalino-terreux (calcium - magnésium).

On dose la somme des métaux alcalino-terreux (dans nos échantillons essentiellement  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ) à pH 10 à l'aide d'une solution titrée de EDTA. Le Noir Eriochrome T (N.E.T.) est utilisé comme indicateur de concentration de ces ions.

Pour le dosage du calcium l'échantillon est amené à pH 12, l'hydroxyde de magnésium est alors précipité. Le N.E.T. est remplacé par le réactif de Patton et Reeder.

Le magnésium est obtenu par différence.

Selon la concentration des eaux en ces ions, nous avons utilisé des solutions de E.D.T.A. m/100 ou m/200 et des prises d'essai de 25,50 ou 100 ml.

Les résultats sont donnés en milli-équivalents par litre. La précision est de l'ordre de  $\pm 5\%$  pour le calcium et de  $\pm 7,5\%$  pour le magnésium.

Au cours du dosage du calcium, une fraction de calcium peut être entraînée par la précipitation de l'hydroxyde de magnésium, en outre du calcium peut précipiter avec les phosphates présents sous forme de phosphate de calcium. En conséquence pour des eaux riches en magnésium et phosphates le résultat du dosage est trop faible.

Nous nous proposons ultérieurement de séparer le calcium avant dosage pour contrôler la validité de certains résultats.

## II.5 - Mesure des métaux alcalins (potassium sodique).

Le potassium et le sodium sont déterminés par spectrophotométrie de flamme.

Les eaux faiblement salées ont été concentrées par évaporation avant la mesure, dans le rapport 1/2.

Les résultats sont exprimés en milli-équivalents par litre des ions considérés. L'erreur maximum est de 5% pour le sodium, 7,5% pour le potassium.

## II.6 - Mesure des silicates.

La détermination des silicates est basée sur la formation du complexe silicimolybdique puis réduction de ce dernier par une solution de métol-sulfite et d'acide oxalique.

La mesure de l'absorption du complexe est faite à 820 m $\mu$ .

Certaines formes de la silice en solution, telles que les chaînes polymérisées supérieures à 3 - 4 unités d'acide silicique, ne réagissent pas. (Alexander 1954).

La nature exacte des silicates solubles est mal connue. Aussi désignerons-nous par "silicates réactifs" la fraction analysée.

Les mesures ont été faites sur des échantillons filtrés 2 à 3 semaines après prélèvement. Il n'est pas impossible qu'entre temps il y ait eu des phénomènes de précipitation et d'absorption des silicates qui diminueraient les résultats.

Les résultats sont exprimés en mg/l de SiO<sub>2</sub>. L'erreur maximum de la mesure est de 2%.

Nos échantillons étant très riches en silice, nous avons dû utiliser des prises d'essai de 1 à 2 ml, ce qui diminue la précision de la méthode.

En conséquence il doit être préférable, soit d'utiliser une autre longueur d'onde moins absorbée (700 mμ), soit de mesurer le complexe silici-molybdate non réduit moins intensément coloré.

## II.7 - Mesure des phosphates.

Le phosphore se trouve dans l'eau sous différentes formes minérales et organiques que l'on définit selon différents protocoles d'analyse (Strickland - Parsons 1965, Olsen 1966).

Les déterminations de ces différentes formes sont toutes basées sur la formation de l'acide phosphomolybdique en milieu acide puis réduction de ce complexe par l'acide ascorbique (Murphey - Riley 1962).

Nous avons dosé la fraction des phosphates solubles réagissant directement avec l'acide molybdique. Comme pour les silicates les échantillons ont été filtrés trois à quatre semaines après le prélèvement à travers un filtre membrane de porosité 0,5 μ.

Cette fraction comprend une partie du phosphore minéral présent sous la forme  $\text{Po}_4^{---}$ , du phosphore organique provenant d'esters phosphatés facilement hydrolysables (Strickland - Parsons 1965).

Les résultats sont exprimés en microgrammes d'ions  $\text{Po}_4^{---}$  par litre. L'erreur relative maximum est de 2%.

Durant la période précédant les dosages, ont pu se produire la décomposition de certains composés organiques ainsi que l'absorption de phosphates par des matériaux qui, initialement en suspension, se sont déposés au fond du flacon.

Les fortes concentrations de silice notées dans certaines eaux risquent de fausser les résultats d'analyses, il sera nécessaire dans l'avenir de vérifier ce point.

### III. R E S U L T A T S

---

#### III.1 - Variations spatiales des concentrations des ions majeurs et de la conductivité.

Pour chaque paramètre les résultats ont été consignés sur une carte du lac au 1/1.000.000<sup>e</sup>, en inscrivant la grandeur mesurée sur son propre emplacement géographique. Des courbes d'égales concentrations ont ensuite été tracées (voir figures II - III - IV - V - VI - VIII).

Une première observation de ces cartes montre que les différentes familles de courbes ainsi obtenues ont sensiblement même allure d'un paramètre à un autre, ce qui permet de penser que les ions majeurs varient comme la conductivité ; soit augmentation progressive de la concentration de chacun d'eux à partir du delta du Chari avec brusque discontinuité au niveau de la Grande Barrière.

En outre l'allure de ces familles de courbes semble montrer, compte tenu du régime d'alimentation du lac et de sa morphologie, qu'en Avril il n'y a plus (ou presque plus), pénétration d'eaux du sud vers le nord au niveau de Baga-Kawa ; par contre les eaux salées du nord paraissent traverser la Grande Barrière en sens inverse. Ce mouvement général des eaux ne pourra être précisé qu'à la suite d'études analogues à différentes époques de l'année.

En réalité ce schéma qui consiste à penser que la concentration des ions majeurs varie comme la conductivité ne résiste pas à un examen plus minutieux des cartes de distribution.

En effet les variations relatives des ions majeurs dans l'espace ne sont pas identiques.

Cette remarque est illustrée sur le trajet point 6 - point 107.



Les variations relatives des concentrations des différents ions sur cette distance sont données par la formule :

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} \quad ( \Delta C_x = \text{augmentation de la concentration de l'ion x de 6 à 107.} )$$

$C_x$  = concentration de l'ion x en 6. )

On obtient les résultats suivants :

Carbonates + bicarbonates	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium
9,0	7,5	7,4	13,5	10,5

Seules les variations relatives des concentrations du calcium et du magnésium sont voisines.

En conséquence la conductivité ne permet pas de suivre ces variations puisqu'elle n'est qu'une mesure globale de la salure. Nous allons voir que dans le cas des eaux étudiées elle est cependant liée à l'alcalinité.

Le problème nouveau est de connaître les variations relatives des ions majeurs dans l'espace cette étude a été menée en choisissant comme paramètres certains rapports de concentration d'ions entre eux et en suivant les variations spatiales de leurs valeurs.

### III.2 - Corrélation entre la conductivité et l'alcalinité.

Dans le cas des eaux étudiées, les cations sont essentiellement représentés par le calcium le sodium le magnésium et le potassium, les anions par les carbonates et bicarbonates. (Les concentrations des ions chlorures et sulfates dans les eaux très salées du nord sont inférieures à 0,2 me./l).

Soit  $S^+$  la somme des cations

$S^-$  la somme des anions

C la conductivité

on peut écrire  $C = f(S^+ + S^-)$

L'électroneutralité du milieu est traduite par l'équation

$$S^+ = S^-$$

$$\text{d'où } C = f(S^+) = f(S^-)$$

comme  $S^- = \text{Alcalinité totale}$ .

$$C = f(\text{Alcalinité totale})$$

Cette fonction est représentée par les figures IX et X.

La courbe moyenne, obtenue graphiquement, suit l'équation suivante :

$$C = 95.5 A - 2.0 A^2$$

C = conductivité en  $\mu\text{mhos, cm}^{-1}$  ramenée à 25° C

A = alcalinité totale exprimée en milliéquivalents par litre.

Cette formule est valable jusqu'à  $C = 650 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ .

### III.3 - Variations relatives des concentrations des cations majeurs entre eux.

#### III.3.1 - Méthode d'étude.

Nous avons choisi des rapports de concentration suivants :

$\frac{Ca}{Mg}$      $\frac{Ca}{Na}$      $\frac{Ca}{K}$      $\frac{Na}{K}$     comme paramètres indicateurs de ces variations.

Les valeurs de ces différents rapports ont été calculées pour chaque point de mesure puis regroupées en différentes classes, les intervalles de classes étant égaux à 0,1 ou 0,05 selon le cas. Il a ainsi été établi pour chaque rapport un histogramme.

Les données ainsi présentées permettent de montrer la présence de un ou plusieurs modes dans la distribution des valeurs d'un rapport donné ; on constate que chaque mode correspond à une entité géographique. Quatre régions sont ainsi définies. La délimitation de ces régions est guidée, par le souci d'obtenir le meilleur regroupement possible des valeurs. Elle n'est pas la même d'un rapport à un autre. Mais les régions correspondantes se recouvrent en grande partie comme l'indique, la figure XI.

Un histogramme "régional" subdivision de l'histogramme global caractérise chaque région en permettant de calculer la valeur moyenne et la variance du rapport considéré.

La distribution des valeurs du rapport autour de la moyenne s'explique par les erreurs de dosage et les variations naturelles du rapport.

Ne connaissant pas la distribution des valeurs dues aux erreurs de mesure pour une région donnée, en première approximation nous supposerons que le milieu est homogène en ce qui concerne le rapport étudié pour calculer à partir de la valeur moyenne les valeurs maximales possibles imputables aux erreurs de dosage.

Les valeurs, situées hors de l'intervalle défini par les valeurs maximales, seront expliquées par une plus ou moins grande homogénéité du milieu selon l'importance relative du nombre des valeurs marginales.

Il s'avèrera que les variations intrarégionales des valeurs du rapport donné de deux cations sont beaucoup plus faibles que les variations interrégionales et les moyennes des rapports se situent à des niveaux différents.

Dans certains cas nous devons recourir à la méthode de comparaison des moyennes utilisant le paramètre  $t$  de Student et Fisher pour savoir si les valeurs moyennes des rapports caractérisant deux régions sont bien significativement différentes.

### III.3.2 - Etude du rapport $\frac{Ca}{Mg}$ (fig. XII)

L'histogramme de ce rapport est unimodal. Les différentes valeurs du rapport se répartissent de façon symétrique autour de la valeur moyenne égale à 1,30.

L'intervalle dû aux erreurs de dosage (5% pour le calcium 7,5% pour le magnésium) est défini à partir de la valeur moyenne  $m = 1,30$

$$\text{Valeur minimale} = 1,30 \times \frac{95}{107,5} = 1,15$$

$$\text{Valeur maximale} = 1,30 \times \frac{105}{92,5} = 1,45.$$

A l'exception d'une petite zone située au sud d'Iseïrom \* où les valeurs du rapport sont plus fortes, et d'une autre située à l'extrême nord où elles sont plus faibles en raison d'une probable précipitation du calcium, dans le reste du Lac les valeurs du rapport sont à l'intérieur de l'intervalle d'erreur ce qui permet d'estimer que pour ce rapport le milieu est relativement homogène.  $\frac{Ca}{Mg}$  reste de l'ordre de 1,30.

### III.3.3 - Etude du rapport $\frac{Ca}{Na}$ (fig. XIII).

L'histogramme global est plurimodal. Quatre histogrammes régionaux sont dégagés qui permettent de calculer la moyenne du rapport dans les régions correspondantes.

$$m_I = 0,855 \quad m_{II} = 1,62 \quad m_{III} = 1,12 \quad m_{IV} = 1,36.$$

Les régions I - II - IV sont relativement homogènes comme le montre la figure XIII, contrairement à la région III ; l'hétérogénéité de cette dernière est probablement due à un mélange des eaux de I et II.

---

\* des résultats antérieurs et ultérieurs confirment cette remarque. Ce rapport augmente lorsque les eaux se concentrent dans les bras de l'archipel Est.

Il est intéressant de savoir si les trois régions homogènes sont bien distinctes pour le rapport  $\frac{Ca}{Na}$ .

Les eaux des régions I et II ne possédant pas de valeurs de rapport communes sont différentes pour le rapport  $\frac{Ca}{Na}$ .

Pour les autres régions on utilise le test de comparaison des moyennes :

entre les régions II et IV  $t \neq 10$

I et IV  $t \neq 6$

Ce qui permet de conclure que les variations interrégionales sont significatives.

#### III.3.4 - Etude du rapport $\frac{Na}{K}$ (fig. XIV).

Les régions I, II, IV relativement homogènes sont caractérisées par les valeurs moyennes suivantes du rapport :

$$m_I = 3,42 \quad m_{II} = 2,43 \quad m_{IV} = 2,58$$

La région III est très hétérogène les valeurs du rapport varient de 2,50 à 3,70.

L'emploi du test de comparaison des moyennes est inutile pour montrer que les eaux de la région I et II d'une part et les eaux I et IV d'autre part sont différentes.

Pour la comparaison des régions II et IV le test est nécessaire on trouve  $t = 1.994$ . La différence n'est pas significative.

#### III.3.5 - Etude du rapport $\frac{Ca}{K}$ (fig. XV).

Mêmes constatations que dans le paragraphe précédant les valeurs moyennes des rapports des quatre régions sont :

$$m_I = 2,96 \quad m_{II} = 3,85 \quad m_{III} = 3,37 \quad m_{IV} = 3,55$$

Les eaux de la région III sont hétérogènes. Les valeurs du rapport varie de 3,05 à 3,75.

Les régions I et II d'une part, I et IV d'autre part sont distinctes.

Pour les régions IV et II  $t = 14$  ; les eaux II et IV en ce qui concerne ce rapport sont bien distinctes.

### III.3.6 - Conclusions.

Le rapport  $\frac{Ca}{Mg}$  est de l'ordre de 1,30 sur presque toute l'étendue du lac.

Pour les autres rapports étudiés, dans les régions I, II, IV les variations intrarégionales sont beaucoup plus faibles que les variations inter-régionales.

De ce fait il est permis de conclure que dans chacune des parties communes représentées par les zones hachurées sur la carte XI, les proportions relatives des ions majeurs restent relativement constantes.

Si l'on admet que les cations sont équilibrés par les carbonates\*, on peut calculer les pourcentages de chaque ion majeurs pour les régions I, II, IV.

On obtient les pourcentages suivants :

Eléments	Eau I	II	III	IV
$HCO_3^- + CO_3^{--}$	50 %	50 %	50 %	50 %
Ca	15,5 %	19,0 %	15,5 - 19 %	17,75 %
Mg	11,5 %	14,5 %	11,5 - 14,5 %	13,5 %
Na	17,75%	11,5 %	17,7 - 11,5 %	13,5 %
K	5,25%	5,0 %	5,25 - 5,0 %	5,25 %

\*Cette hypothèse n'est plus rigoureuse pour des eaux de conductivités  $> 300 \mu mhos$ .

En proportions relatives, les eaux I sont plus pauvres en calcium et magnésium que les eaux II ; mais plus riches en sodium. - le potassium varie peu.

Les eaux IV ont une composition chimique intermédiaire.

Les eaux III ne sont pas homogènes ; les pourcentages des ions varient entre ceux des eaux I et II.

#### III.4 - Variations spatiales des phosphates.

Comme pour les ions majeurs une carte de la répartition des phosphates a été établie. Les variations des concentrations suivent sensiblement celles de la conductivité (voir figure XVI).

Pour les phosphates, des variations de nature biologique s'ajoutent à celles de nature physique.

Dans les eaux du nord les variations biologiques sont faibles par rapport aux teneurs en phosphates rencontrés, ce qui n'est pas le cas dans les eaux du sud. Aussi seules les eaux du nord permettent une bonne corrélation entre les concentrations en phosphates et la conductivité (Fig. XVII).

Les variations de nature biologique, correspondant à la fraction des phosphates entrant dans le cycle biologique, seront ultérieurement étudiées en différents points du lac. Elles seront évaluées en soustrayant des variations globales les variations d'ordre physique estimées à partir d'un autre composé inerte biologiquement.

#### III.5 - Variations spatiales des silicates.

La famille des courbes d'égales concentrations donne une image de la répartition des silicates voisine de celle des autres composés.

Il faut pourtant noter que les gradients de concentration ne sont plus du même ordre de grandeur.

En effet les eaux de l'extrême est sont aussi riches en silicates que celles de l'extrême nord. Pour les autres composés les concentrations à l'Est sont deux fois plus faibles qu'au Nord (voir fig. XVIII).



#### IV. CONCLUSIONS

---

A l'issue de cette étude descriptive, deux remarques importantes concernant les ions majeurs sont à faire :

- Il y a augmentation progressive de la concentration des ions à partir du Chari avec une brusque discontinuité au niveau de la Grande Barrière. Les gradients de concentration sont différents d'un ion à un autre ce qui ne permet pas d'utiliser la conductivité comme indicateur de la concentration des différents ions.

- Trois masses d'eaux, bien localisées géographiquement, sont définies :

- les eaux du nord
- les eaux centrales du sud
- les eaux de l'Est-Nord-Est.

Pour chacune d'elles les proportions relatives des ions restent constantes, compte tenu de la précision de nos mesures, indépendamment de la salure totale.

Entre les eaux centrales du sud et celles du nord se trouve une masse d'eaux très hétérogène qui a des caractéristiques chimiques comprises entre les deux premières.

Pour affirmer que les eaux I correspondent à une évolution des eaux II, les eaux III et IV représentant un stade intermédiaire, il faut admettre l'existence de phénomènes physico-chimiques (précipitation, dissolution...) ou encore de phénomènes biologiques (rétention, libération temporaire de certains ions par la faune et la flore aquatique).

On peut également penser que ces types d'eaux correspondraient chimiquement à des types d'eaux que le Chari verserait dans le lac à différentes époques de l'année. L'évaporation aurait pour effet d'augmenter la concentration des différents ions sans changer leurs proportions relatives.

Autrement dit la composition chimique des eaux en ce qui concerne les proportions relatives des ions majeurs dépendrait uniquement de l'époque où elles ont pénétré dans le lac ou encore de leur temps de résidence dans le lac.

Ces hypothèses pourront être confirmées ou infirmées par des études analogues à différentes époques de l'année dans le lac, le Chari et les autres affluents.

En ce qui concerne les silicates, les eaux de l'extrême est sont aussi silicatées que celles du nord tandis que leur temps de séjour est deux fois plus court, compte tenu de la concentration des autres ions. Il y aurait alors dans cette région mise en solution de silice à partir du fond. Des expériences en laboratoire nous permettront de contrôler la validité de cette hypothèse. Il est également possible que la silice en se concentrant se polymérise en partie, cette forme condensée devient insensible au réactif molybdique. Des mesures de silice totale dissoute devront être effectuées pour vérifier ce point.

Dans une optique hydrobiologique, on peut considérer que les silicates étant donné leur concentration élevée ne sont pas un facteur limitant la production primaire.

Les phosphates dans la zone du delta et des eaux libres du sud sont présents en faible quantité aussi n'est-il pas impossible que pour les conditions les plus favorables à la vie aquatique ils deviennent facteur limitant.

## B I B L I O G R A P H I E

Bouchardeau, A. et Lefèvre, R. (1957) - Monographie du lac Tchad 1 - 1 - 112

Dejoux, C. (1968) - Le Lac Tchad et les chironomides de sa partie Est :  
Annales Zoologici Fennici 5, p. 27-32.

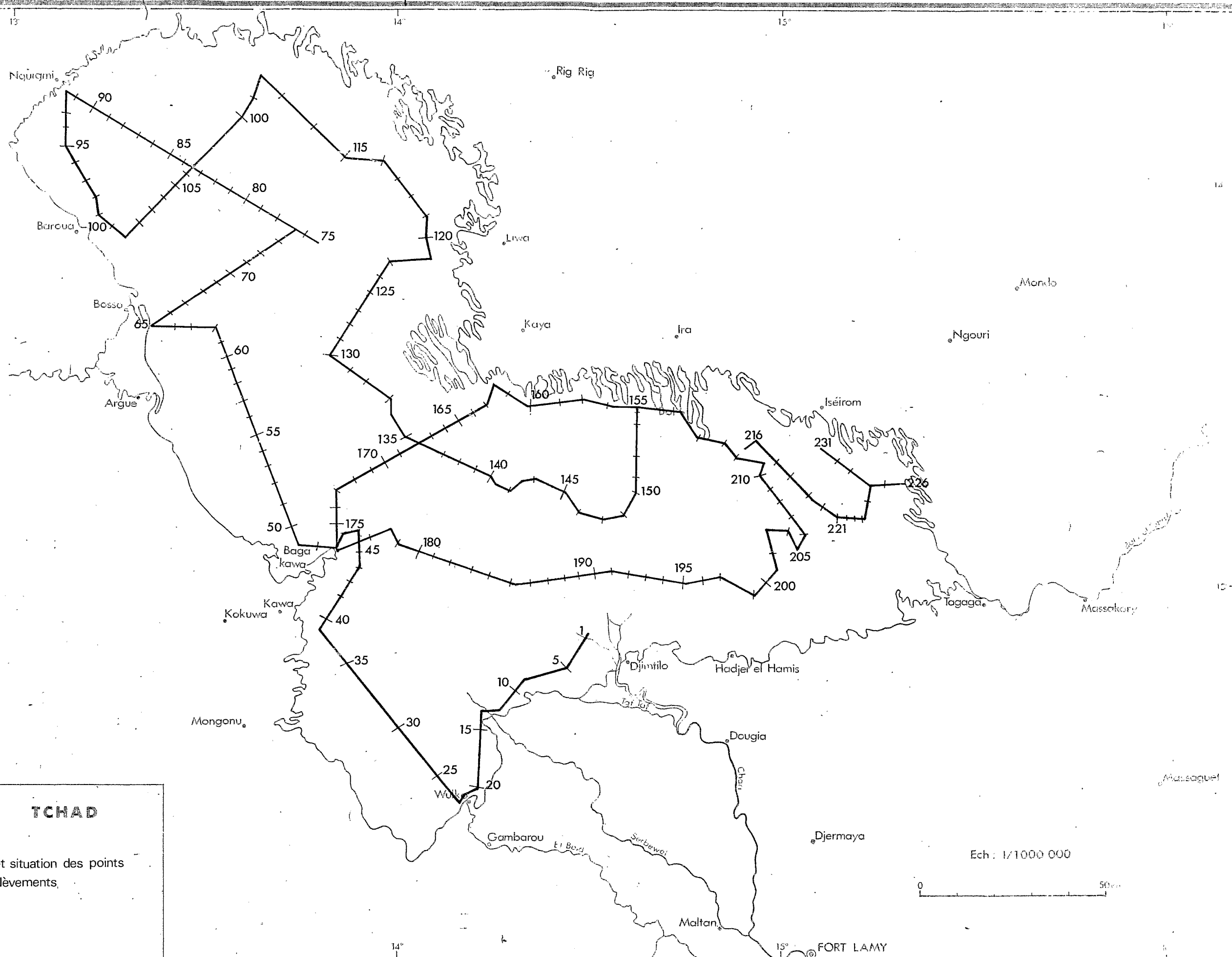
Gras, R. - Iltis, A. et Levêque-Duwat, S. (1967) - Le plancton du Bas-Chari  
et la partie Est du Lac. Cahier ORSTOM, ser. Hydrobiol.

Hopson (1968) - Communication personnelle.

Iltis, A. et Roche, A.M. (1967) - Compte-rendu de mission sur le lac Tchad.  
Ibid. 8 pp.

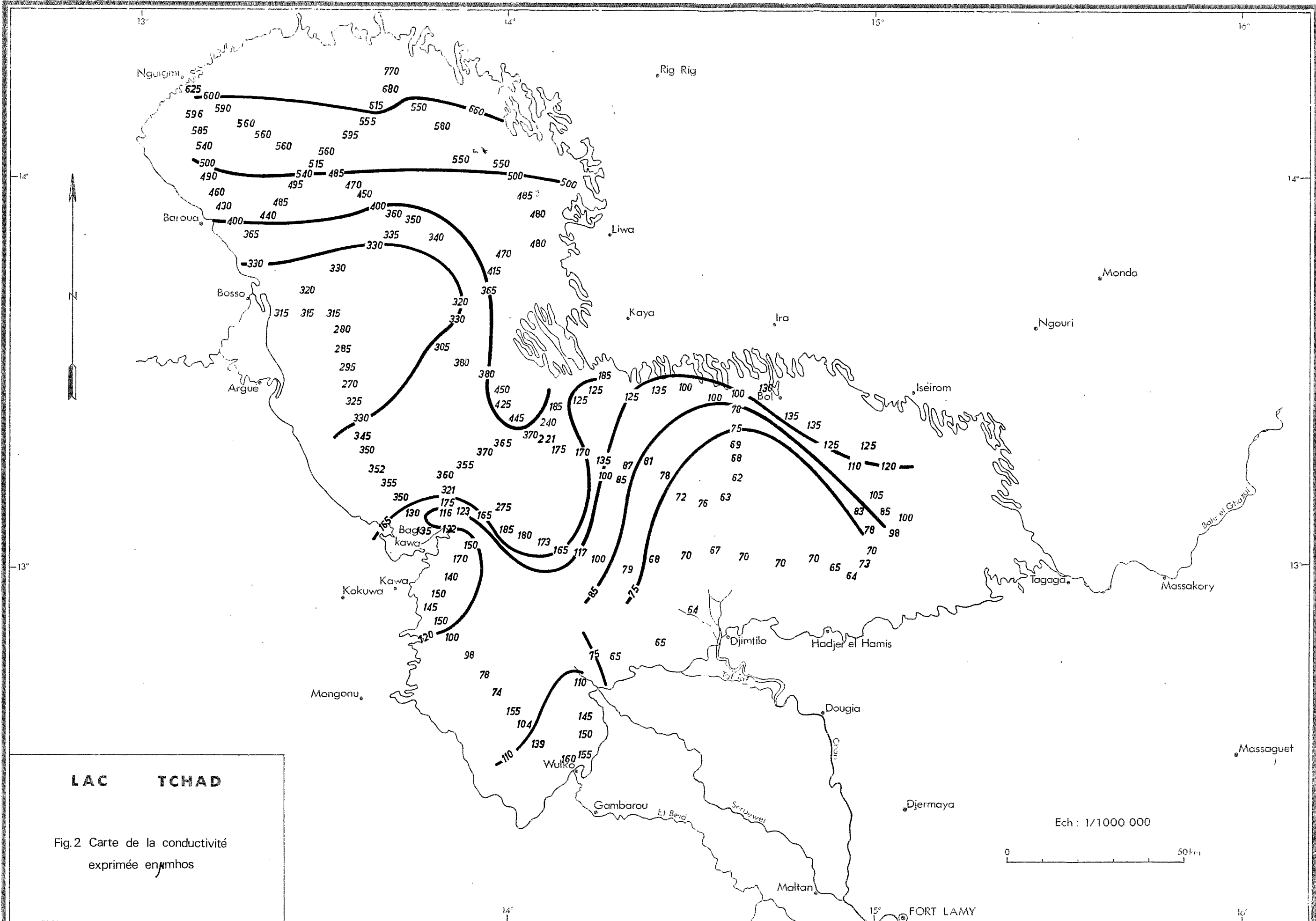
Roche, A.M. (1967) - Premières estimations des apports en sels au lac Tchad  
par le Chari. Rapport interne Centre ORSTOM de Fort-Lamy.

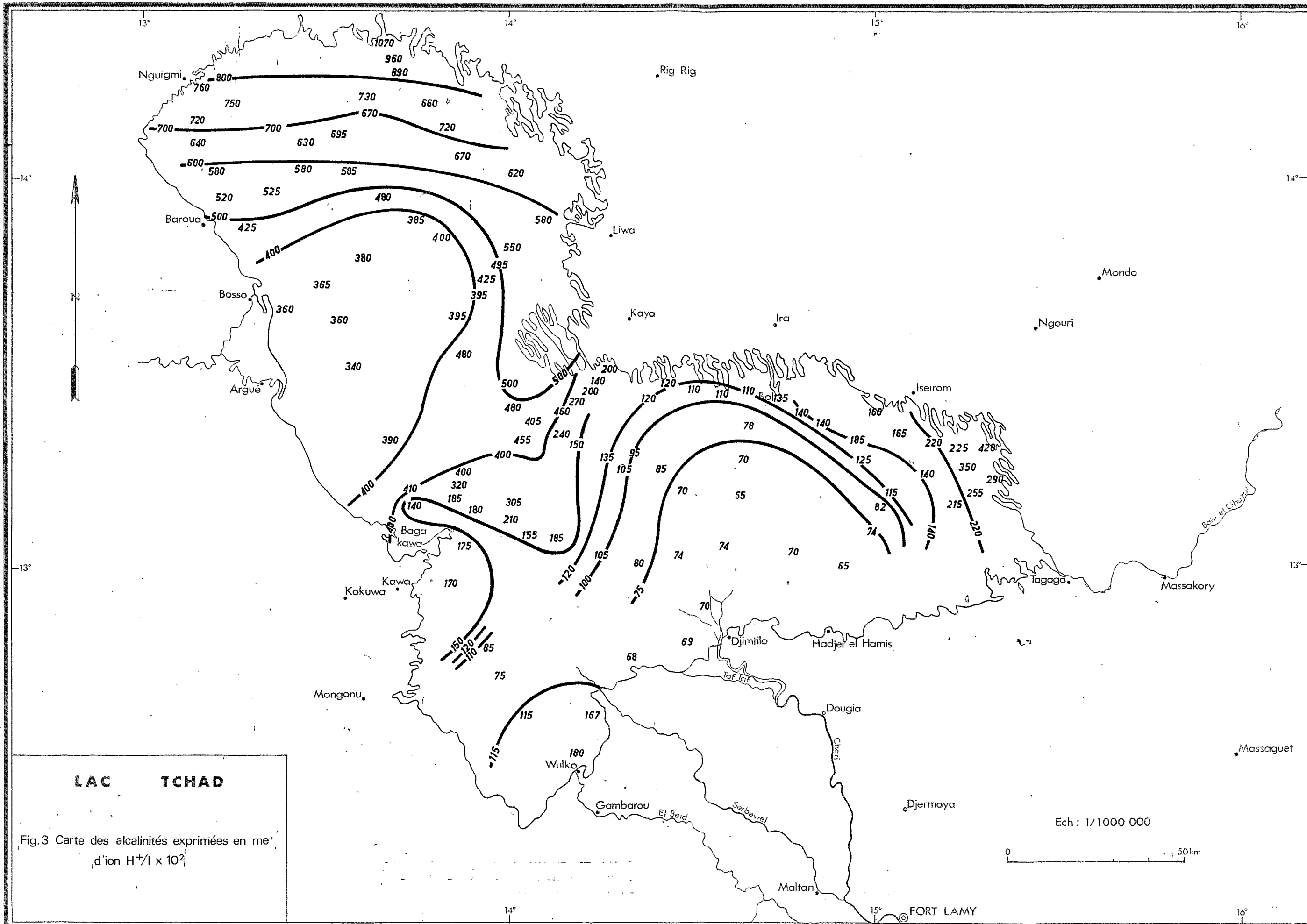
-----

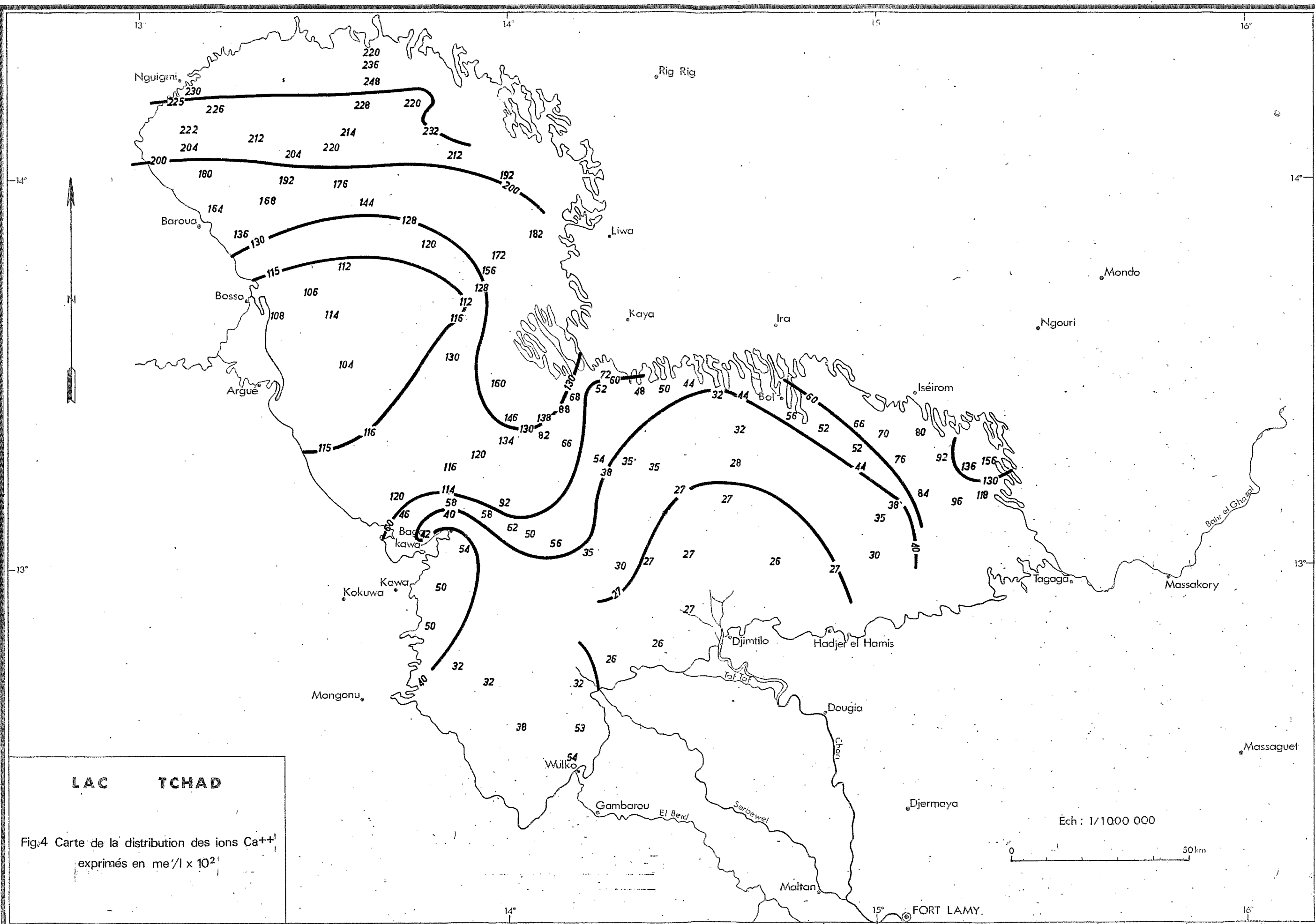


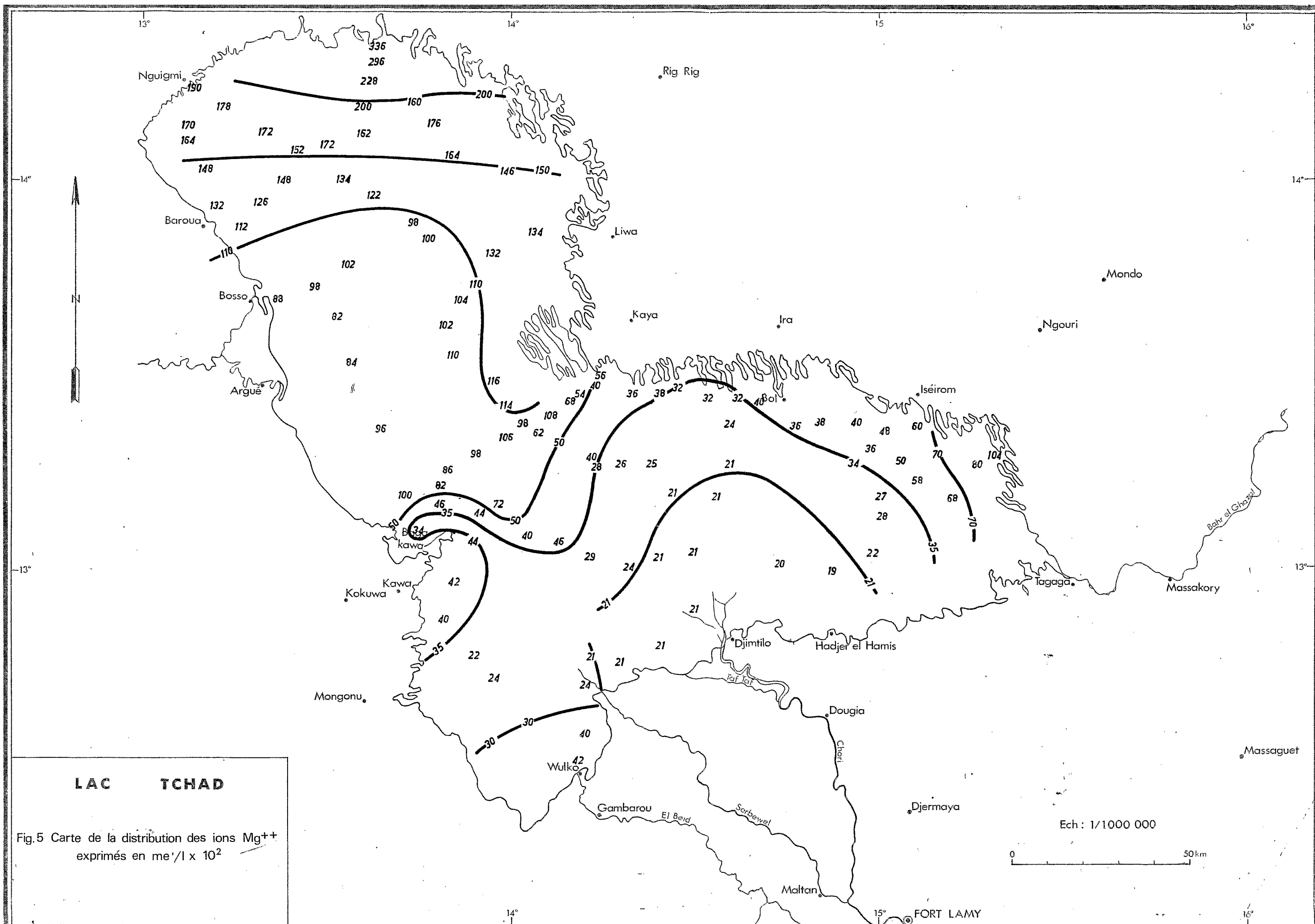
## LAC TCHAD

Fig.1 Itinéraire et situation des points de prélèvements.

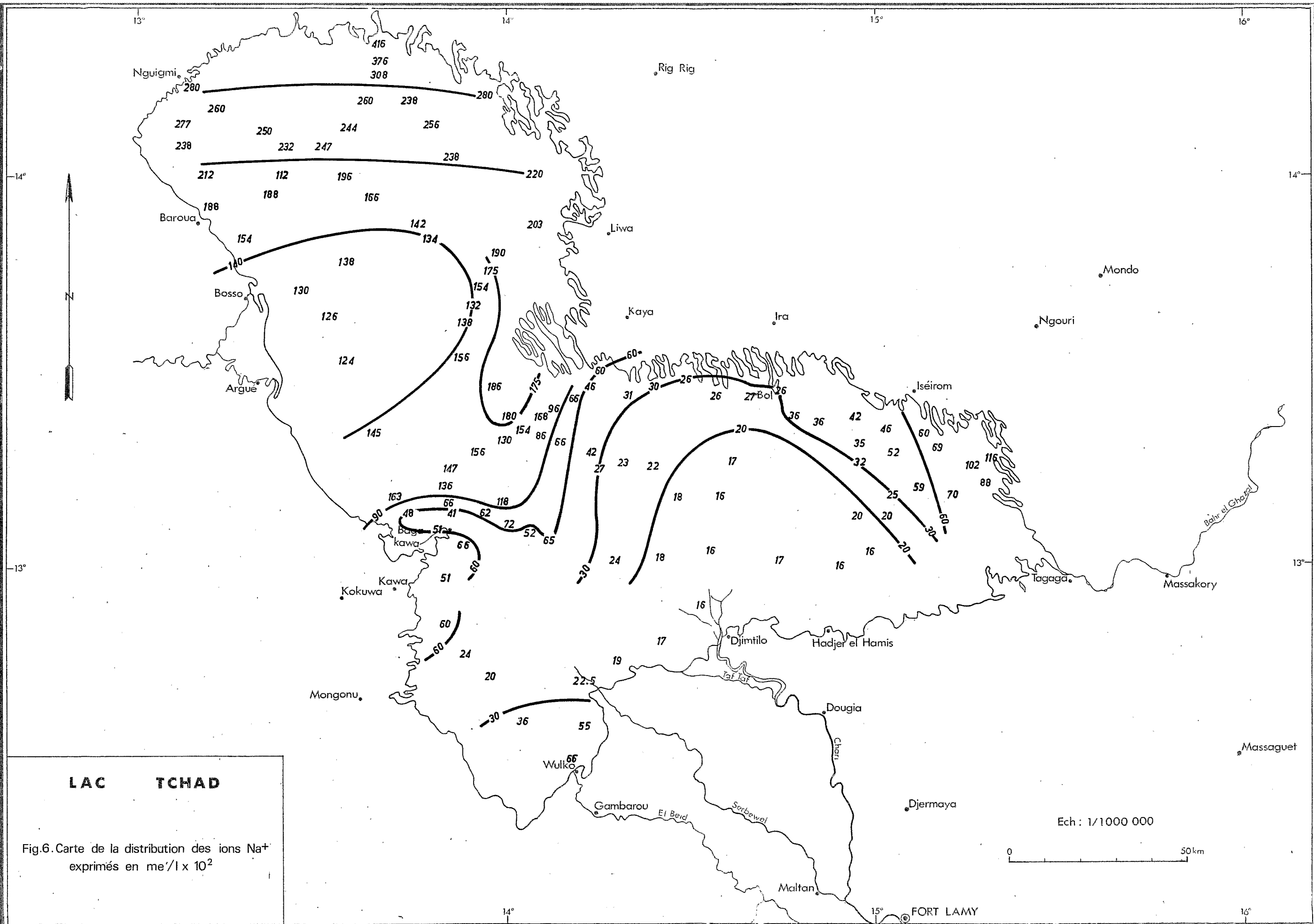






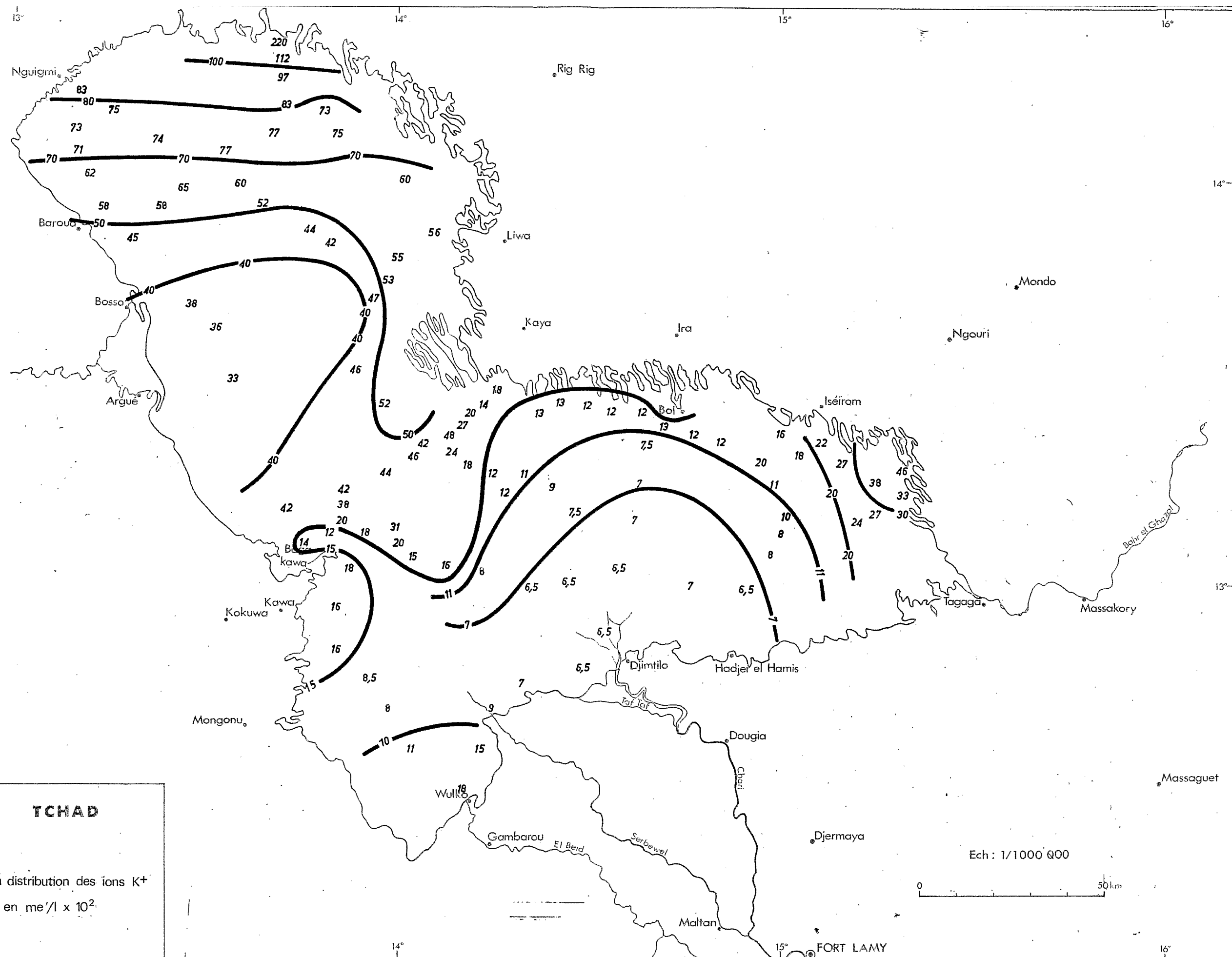






LAC TCHAD

Fig.6. Carte de la distribution des ions  $\text{Na}^+$  exprimés en  $\text{me/l} \times 10^2$



## LAC TCHAD

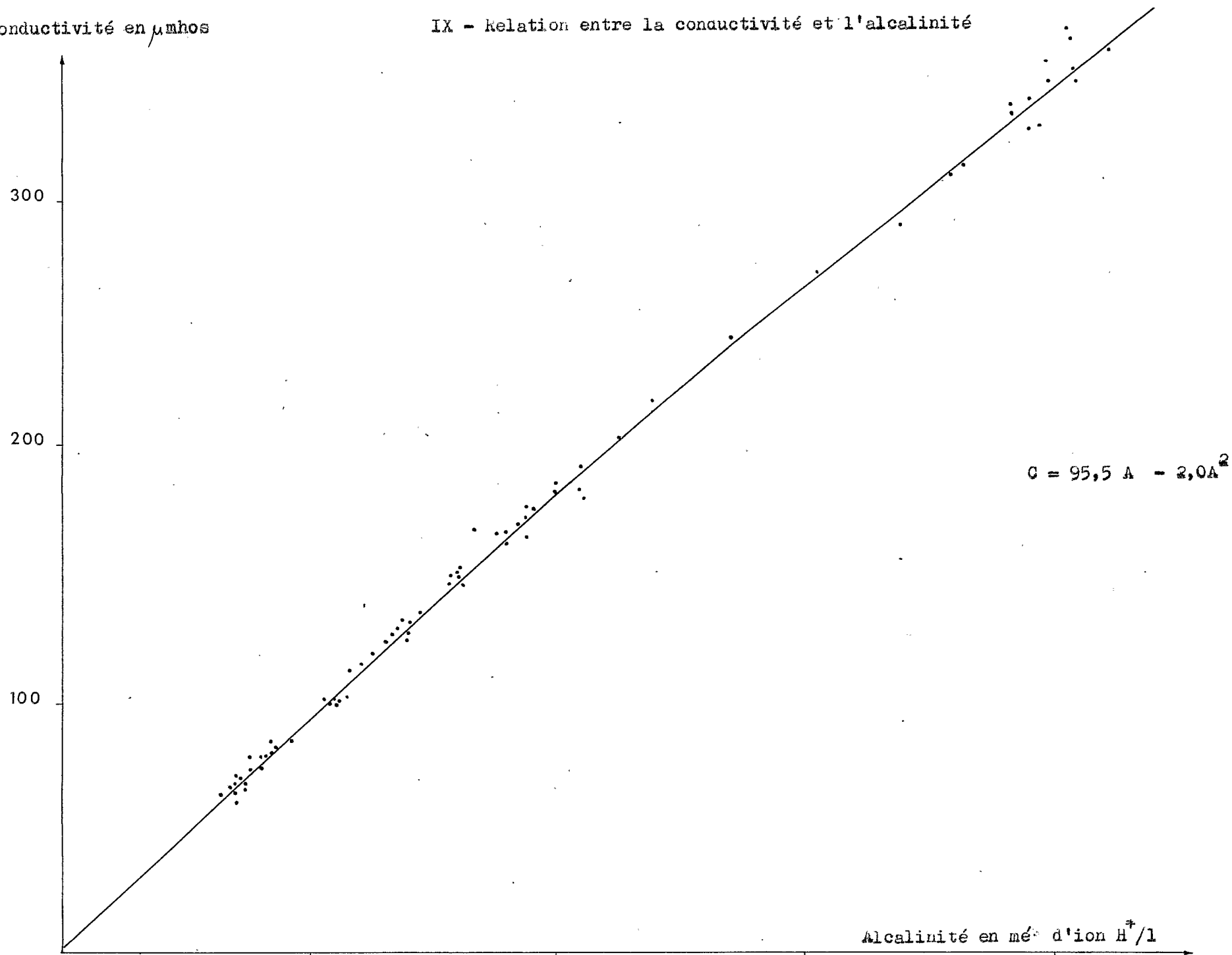
Fig.8 Carte de la distribution des ions  $K^+$   
exprimés en  $me/l \times 10^2$ .

Ech : 1/1000 000

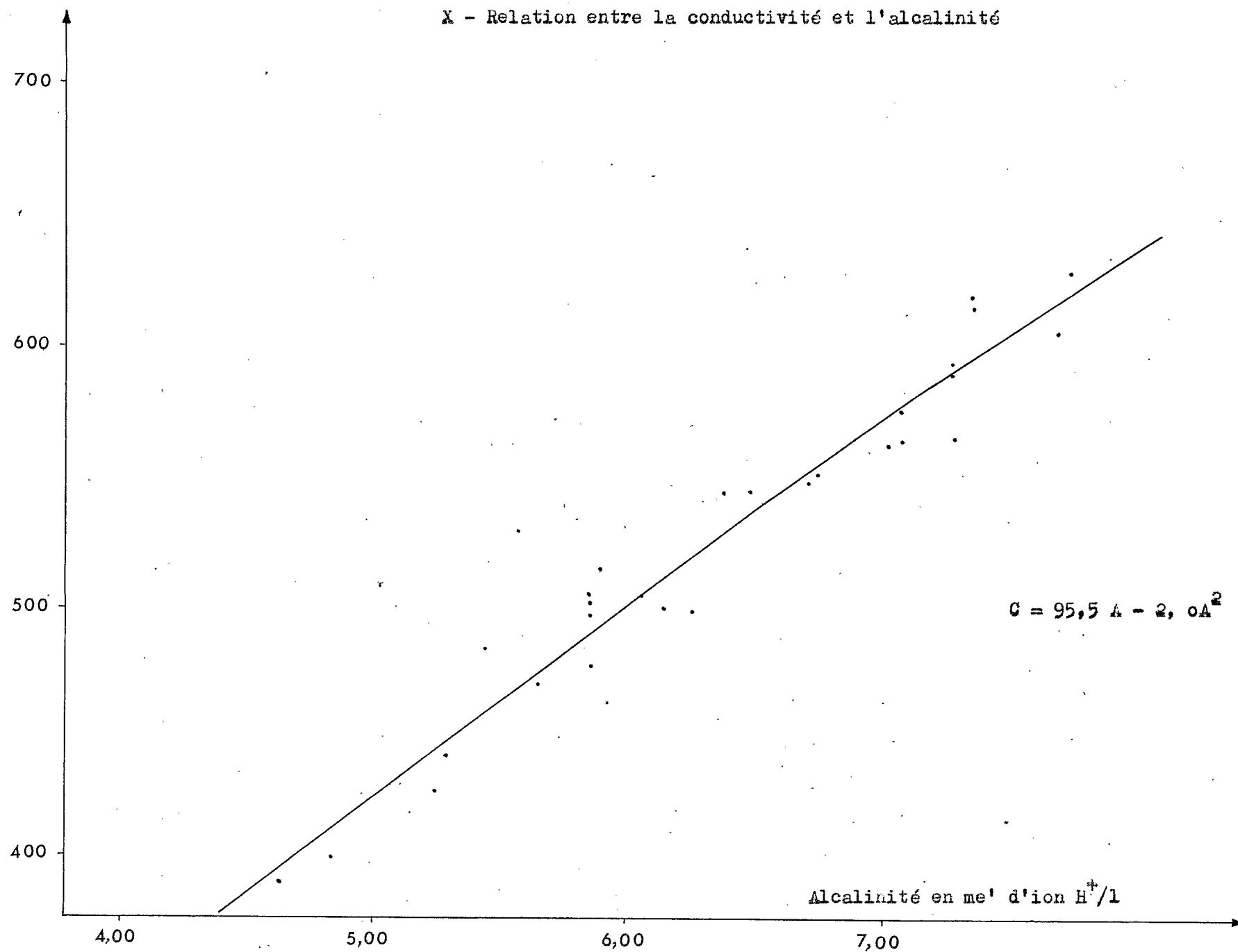
0 50 km

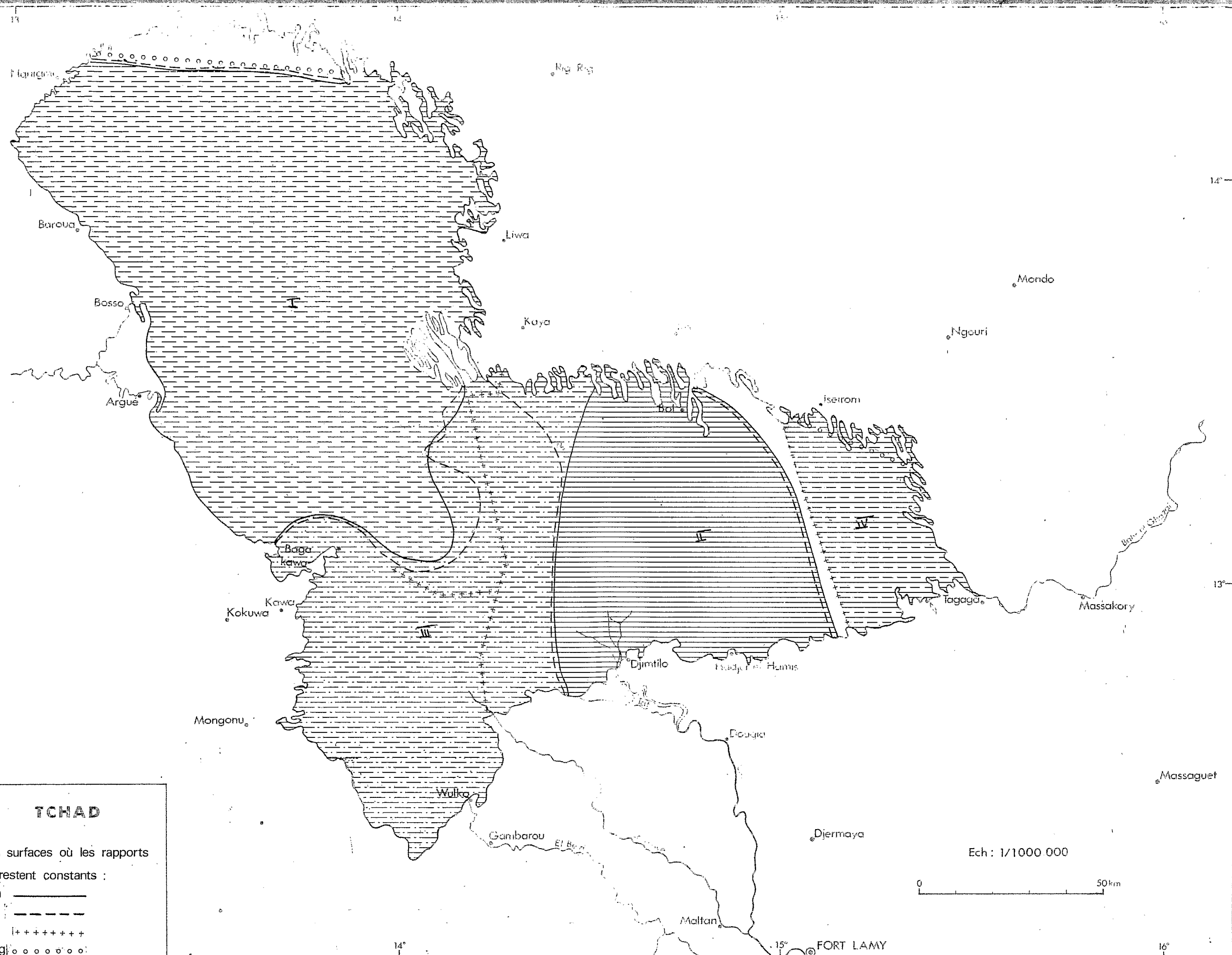
Conductivité en  $\mu\text{mhos}$

IX - Relation entre la conductivité et l'alcalinité



X - Relation entre la conductivité et l'alcalinité





# LAC TCHAD

Fig.11. Limites des surfaces où les rapports suivants restent constants :

- Ca/Na —————
- Ca/K - - - - -
- Na/K | + + + + + + +
- Ca/Mg | o o o o o o o

Ech : 1/1000 000

0 50 km

FORT LAMY

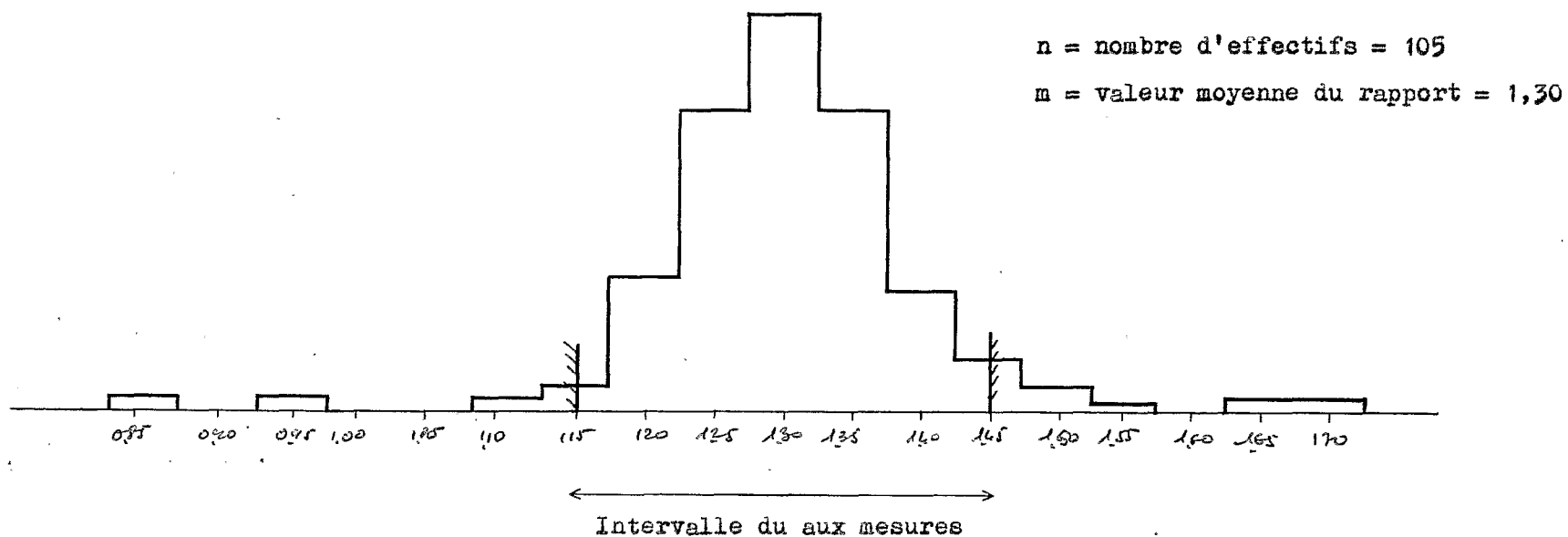
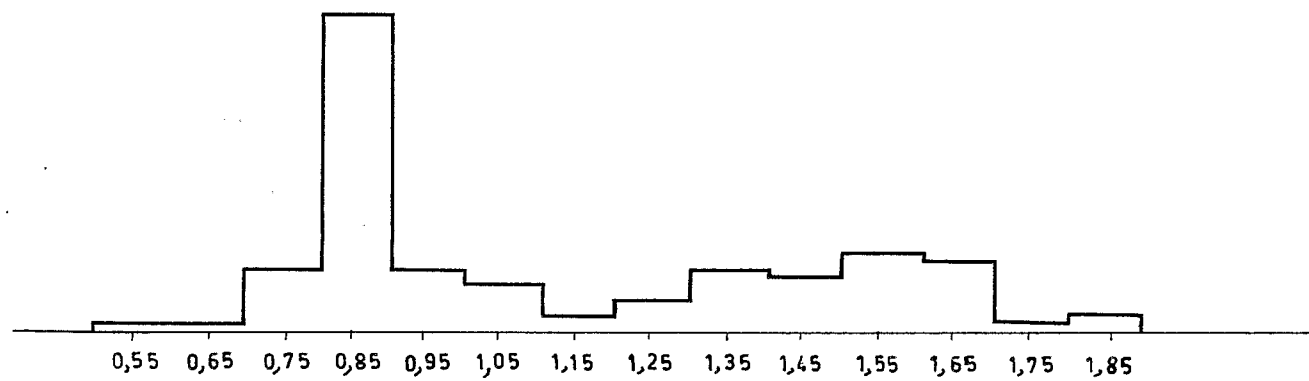


Fig. XII - Histogramme du rapport  $\frac{Ca}{Mg}$

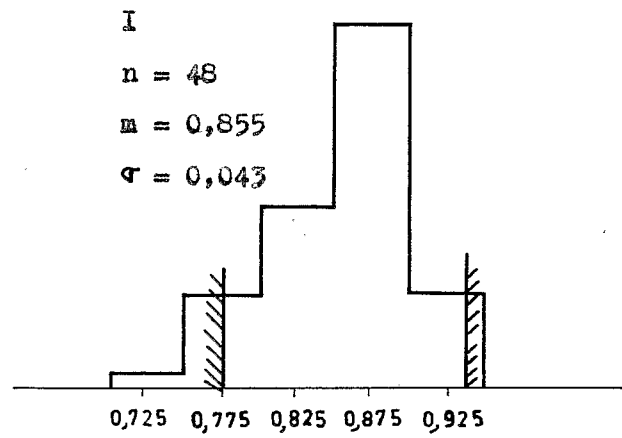


I

$n = 48$

$m = 0,855$

$\sigma = 0,043$

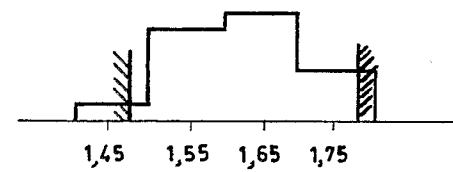


II

$n = 17$

$m = 1,62$

$\sigma = 0,074 = \text{écart type.}$

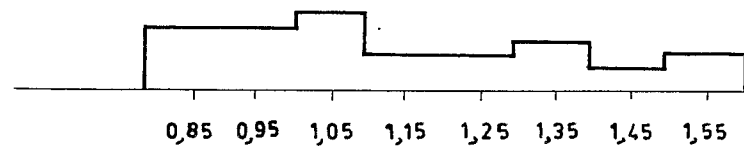


III

$n = 23$

$m = 1,12$

$\sigma = 0,242$



IV

$n = 11$

$m = 1,36$

$\sigma = 0,044$

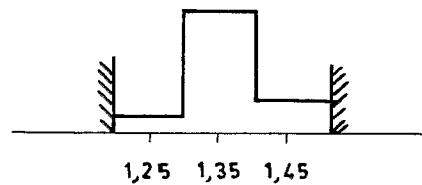
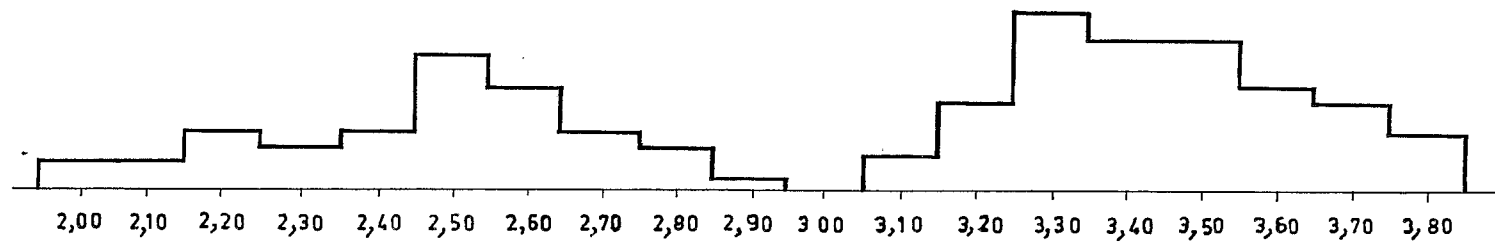


Fig. XIII - Histogrammes du rapport  $\frac{Ca}{Ra}$



II

$n = 29$

$m = 2,43$

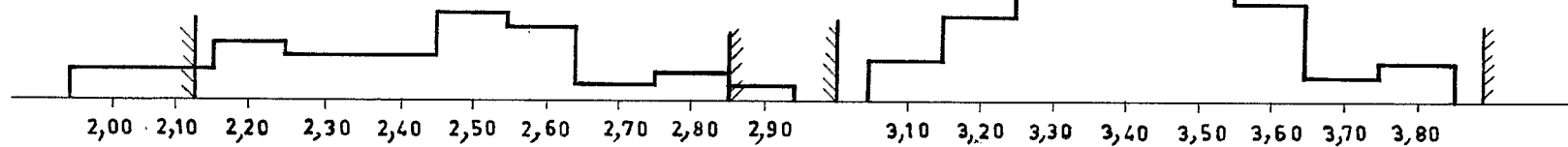
$\sigma = 0,201$

I

$n = 50$

$m = 3,42$

$\sigma = 0,175$

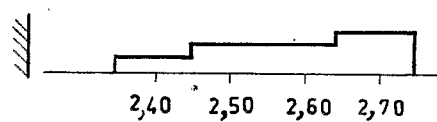


IV

$n = 8$

$m = 2,98$

$\sigma = 0,105$



III

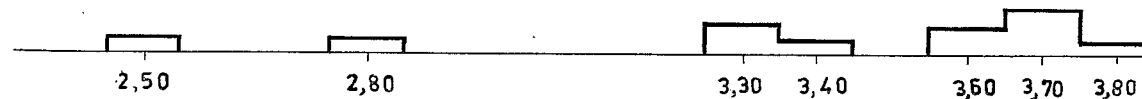
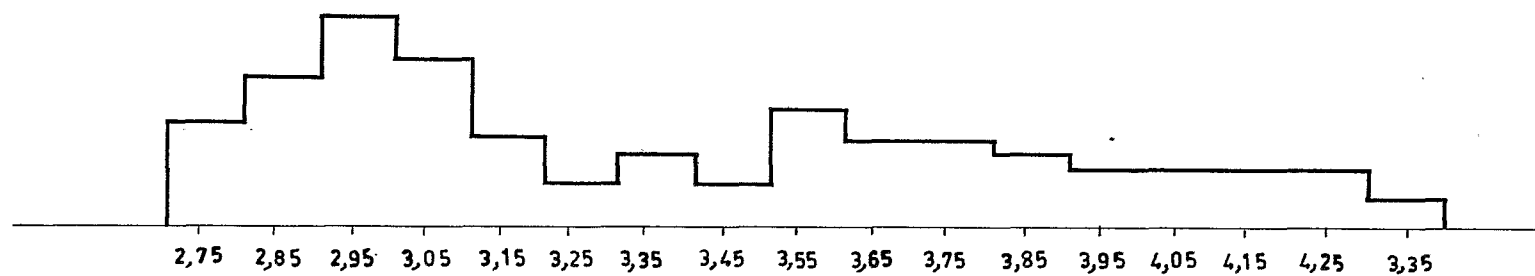
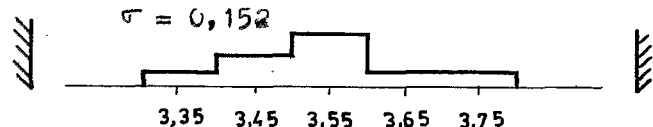


Fig. XIV - Histogrammes du rapport  $\frac{Na}{K}$





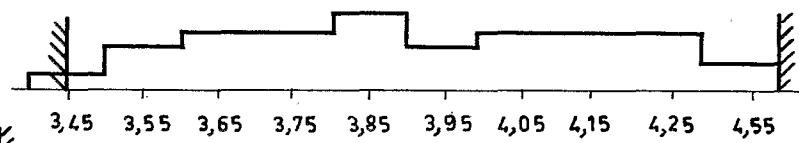
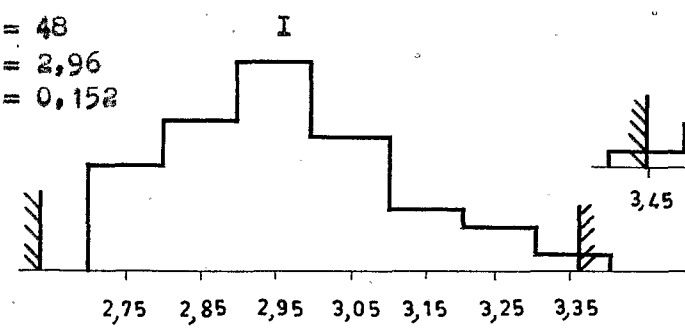
IV  $n = 9$   
 $m = 0,55$   
 $\sigma = 0,152$



II

$n = 33$   
 $m = 3,92$   
 $\sigma = 0,304$

$n = 48$   
 $m = 2,96$   
 $\sigma = 0,152$



III

$n = 13$   
 $m = 3,37$

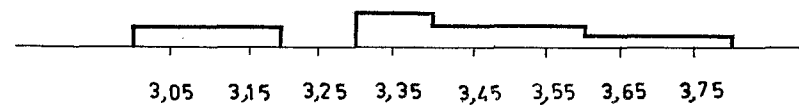


Fig. XV - Histogramme du rapport  $\frac{Ca}{K}$

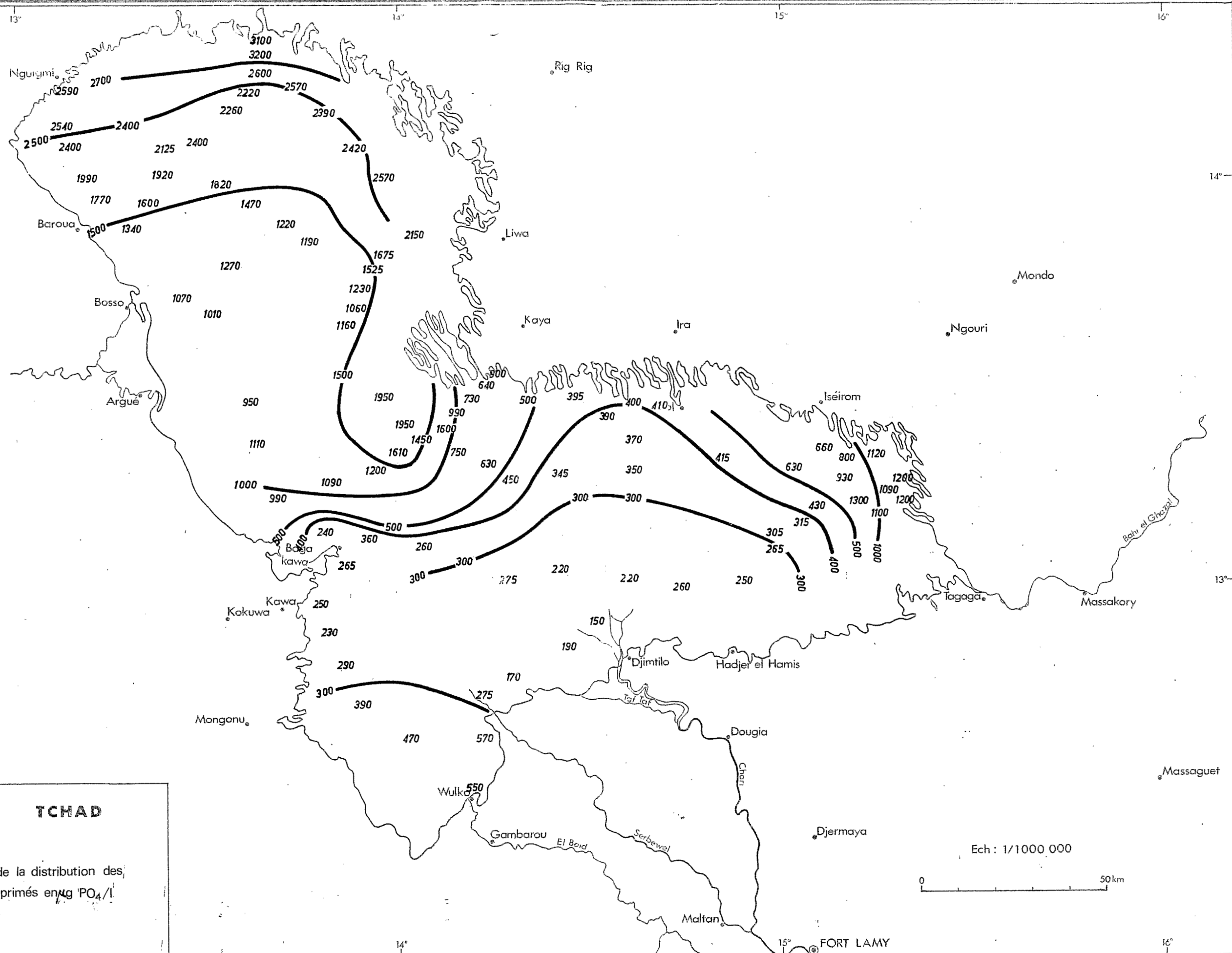
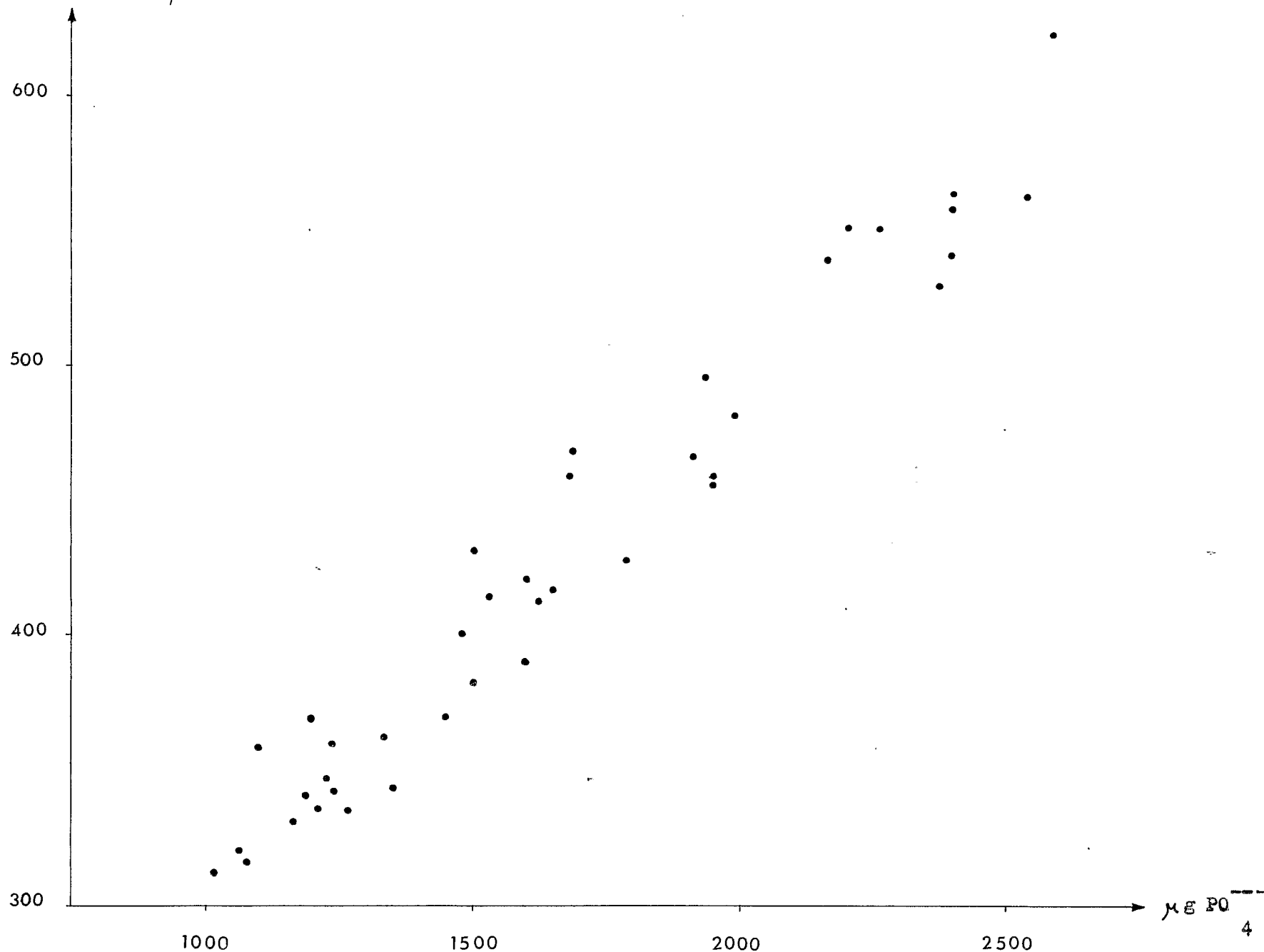
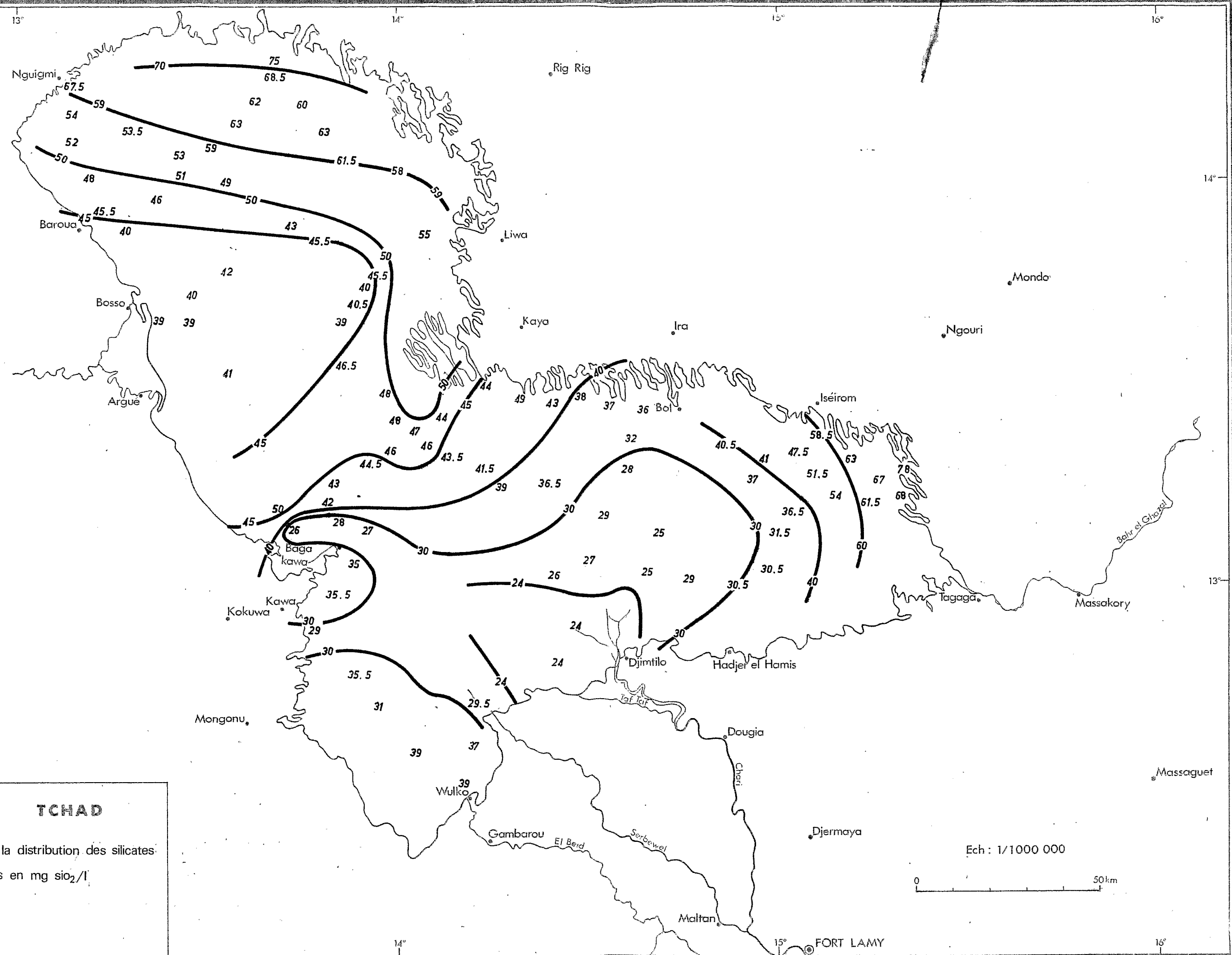


Fig.16 Carte de la distribution des phosphates exprimés en  $\text{mg PO}_4/\text{l}$

Conductivité en  $\mu$ mhos



Vig. XVII - Relation entre la conductivité et la concentration en ion  $\text{PO}_4$  dans les eaux de conductivités  $>$  à 300  $\mu$ mhos.



## LAC TCHAD

Fig. 18 Carte de la distribution des silicates  
exprimés en  $\text{mg SiO}_2/\text{l}$

O.R.S.T.O.M.

*Direction générale :*

24, rue Bayard, PARIS 8°

*Service Central de Documentation :*

70-74, route d'Aulnay - 93 - BONDY

*Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy :*

B.P. 65 - FORT-LAMY (Tchad)

---

IMP. S. S. C. Bondy  
O. R. S. T. O. M. Éditeur  
Dépôt légal :